

ANALISIS BEBAN PENDINGINAN PADA RUANG PENYIMPANAN PRODUK PERTANIAN UNTUK SULAWESI UTARA DENGAN MENGUNAKAN SISTEM REFRIGERASI BERTINGKAT

Yosua A.P Tondok¹⁾, Hengky Luntungan²⁾, Benny Maluegha³⁾
Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi

ABSTRACT

This research aims to calculate the cooling load in cold storage of some agricultural products: potatoes, tomatoes, and peppers; to calculate the compressor's power that is used on the cold storage with three types of multistage compression system: two compressors – three evaporators system (type 1), one compressor – three evaporators system (type 2), and two compressors – one evaporator system (type 3) for each agricultural products; and to analyze the calculated compressor's power to determine the most efficient refrigeration system.

Based on the calculation's results, it is found that the cooling load of potatoes is 295.438,28 Btu/hour, tomatoes 247.261,38 Btu/hour, peppers 300.281,36 Btu/hour, and the total cooling load of the three agricultural products is 841.981,02 Btu/hour. By using multistage compression system, it is obtained that the compressor's power of type 1 is 106,15 hp, type 2 108,55 hp, and the type 3 212,03 hp that consists of type 3a is 75,55 hp, type 3b 59,44 hp, and type 3c 77,04 hp.

Keywords: cooling load, multistage compression system, compressor's power

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung beban pendinginan pada ruang penyimpanan dari beberapa produk pertanian, menghitung besar daya kompresor yang digunakan dengan sistem refrigerasi bertingkat pada ruang penyimpanan produk pertanian dengan tiga alternatif tipe sistem refrigerasi bertingkat yaitu sistem dua kompresor tiga evaporator (tipe 1), sistem satu kompresor tiga evaporator (tipe 2), dan sistem dua kompresor satu evaporator (tipe 3) untuk produk kentang, tomat, dan cabe rawit, serta menganalisis hasil daya yang diperoleh dari perhitungan sistem refrigerasi bertingkat untuk memperoleh sistem refrigerasi yang lebih efisien.

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan, diperoleh besarnya beban pendinginan pada produk kentang adalah 294.438,28 Btu/jam, tomat 247.261,38 Btu/jam, cabe rawit 300.281,36 Btu/jam, dan total beban pendinginan dari ketiga produk pertanian sebesar 841.981,02 Btu/jam. Dengan menggunakan sistem refrigerasi bertingkat diperoleh besar daya kompresor untuk tipe 1 yaitu 106,15 hp, tipe 2 yaitu 108,55 hp, dan tipe 3 yang terdiri dari tipe 3a sebesar 75,55 hp, tipe 3b sebesar 59,44 hp, tipe 3c sebesar 77,04 hp dengan total 212,03 hp.

Kata kunci: Beban Pendinginan, Sistem Refrigerasi Bertingkat, Daya Kompresor

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Agar produk pertanian dapat dimanfaatkan secara maksimal, ruang penyimpanan produk pertanian yang baik harus tersedia. Ruang penyimpanan produk yang baik adalah ruang penyimpanan yang mampu mempertahankan kesegaran produk pertanian untuk waktu yang lama dengan konsumsi energi listrik yang minimal. Untuk mendapatkan ruang penyimpanan yang ideal, perlu diketahui beban pendinginan dari produk-produk pertanian yang akan disimpan, sehingga dapat dirancang suatu ruang penyimpanan dengan kapasitas pendinginan yang sesuai dengan jenis dan jumlah produk pertanian yang disimpan.

Umumnya, ruang penyimpanan produk pertanian yang dipakai menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap standar. Namun, konsumsi energi listrik dari sistem tersebut masih kurang efisien (Gunadarma, 2015). Sistem refrigerasi bertingkat, yang menggunakan rangkaian dua kompresor, mampu menghasilkan sistem pendinginan yang baik dengan

penggunaan energi listrik yang lebih rendah. Sehubungan dengan hal-hal yang disampaikan sebelumnya, dalam skripsi ini, akan dilakukan analisis beban pendinginan dari beberapa produk pertanian dengan menggunakan sistem refrigerasi bertingkat. Selain itu, akan diteliti seberapa besar perbedaan konsumsi daya antara sistem refrigerasi kompresi uap standar dan sistem refrigerasi bertingkat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana analisis beban pendinginan pada ruang penyimpanan produk pertanian untuk Sulawesi Utara dengan menggunakan sistem refrigerasi bertingkat.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui beban pendinginan pada ruang penyimpanan dari beberapa produk pertanian
2. Menghitung besar daya kompresor yang digunakan dengan sistem refrigerasi bertingkat pada ruang

penyimpanan produk pertanian dengan tiga alternatif tipe sistem refrigerasi bertingkat yaitu :

- a. Dua kompresor tiga evaporator (tipe 1)
 - b. Satu kompresor tiga evaporator (tipe 2)
 - c. Dua kompresor satu evaporator untuk produk pertanian (Tipe 3a, 3b, 3c)
3. Menganalisis hasil daya yang diperoleh dari perhitungan sistem refrigerasi bertingkat untuk memperoleh sistem refrigerasi yang lebih efisien.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dilaksanakan dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. produk pertanian yang didinginkan yaitu kentang, tomat, dan cabe rawit;
2. lokasi tata letak ruang penyimpanan berada di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi;
3. refrigeran yang digunakan adalah Freon 134a;
4. kapasitas ruang penyimpanan yang dirancang adalah sebesar 100 ton.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Beban Pendinginan

Beban pendinginan adalah jumlah panas yang harus dikeluarkan dari suatu ruangan untuk menjaga suhu ruangan tersebut sehingga sesuai dengan yang diinginkan. Besarnya kapasitas pendingin dari suatu mesin pendingin harus diatasi dalam ruang pendinginan agar temperatur yang diinginkan bias tercapai.

2.1.1 Panas Produk

Panas yang harus dipindahkan untuk menurunkan temperatur dari produk dari t_1 ke t_2 dapat dihitung dengan Persamaan (2.1) (Stoecker, 1992)

$$q = m \int_{t_1}^{t_2} c dt \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:

q = kapasitas panas (Btu/hr atau Watt)

m = massa produk (lb/hr atau kg/jam)

c = panas spesifik [Btu/(lb °F) atau (kJ/kg K)]

t = temperatur produk (°F atau °C)

$$q = m c_{mean} (t_1 - t_2) \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana:

q = kapasitas panas (Btu/hr atau Watt)

m = massa produk (lb/hr atau

kg/jam

2.1.2 Konduksi aliran stedi

Penghantaran panas dengan konduksi dapat dihitung dengan Persamaan (2.3) (Stoecker, 1992)

$$q = U A (t_o - t_i) \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana:

q = kapasitas panas (Btu/hr atau Watt)

U = koefisien perpindahan panas keseluruhan [Btu/(hr ft² °F) atau W/(m² °C)]

A = luas (ft² atau m²)

t_o = temperatur rata-rata dari sekitar (lingkungan) (°F atau °C)

t_i = temperatur ruangan yang didinginkan (°F atau °C)

untuk menghitung nilai U (Stoecker dkk, 1989)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{f_o} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots\dots\dots + \frac{1}{f_i} \dots\dots(2.4)$$

dimana:

f_o = koefisien film di luar dinding [Btu/(hr ft² °F) atau W/(m² °C)]

x = ketebalan material (ft atau m)

k = konduktivitas dari material [Btu/(hr ft °F) atau W/(m °C)]

f_i = koefisien film di dalam dinding [Btu/(hr ft² °F) atau W/(m² °C)]

2.1.3 Konduksi aliran tidak stedi

$$q = U A \text{ (total equivalent temperature differential) } (2.5)$$

dimana:

q = kapasitas panas (Btu/hr atau Watt)

U = koefisien perpindahan panas keseluruhan [Btu/(hr ft² °F) atau W/(m² °C)]

A = luas (ft² atau m²)

2.1.4 Peralatan listrik

$$q = (\text{nilai perlengkapan, watt}) (\text{faktor pengguna}) (\text{faktor keamanan}) \dots\dots(2.6)$$

2.1.5 Penghuni

2.2 **Produk Pertanian**

Suhu kentang setelah dipanen adalah 28,89°C (84°F), sedangkan suhu penyimpanan di ruang pendingin sebesar 7,22°C (45°F), lama penyimpanan sampai 6 bulan, kelembapan relatif 90% dan panas spesifik 0,82 Btu/lb (Bartsch et.al 1990). Suhu tomat setelah dipanen 23,89°C (75°F), suhu penyimpanan di ruang pendingin 12,78°C (50 °F) (Pantastico, 1989), lama penyimpanan 4-5 minggu, kelembapan relatif 85-90%, dan panas spesifik 0,90. Suhu cabe rawit 26°C (78,8°F), lama penyimpanan 3-

5 minggu, dan kelembapan relatif 85-90% panas spesifik (Pantastico, 1989)

2.3 Sistem Refrigerasi Bertingkat

Sistem refrigerasi bertingkat adalah sistem refrigerasi yang mempunyai dua atau lebih tekanan sisi rendah. Tekanan sisi rendah (*low-side pressure*) adalah tekanan refrigeran di antara katup ekspansi dan saluran masuk kompresor.

2.3.1 Sistem satu evaporator dan satu kompresor

Tangki cetus dan *intercooler* terdapat pada hampir semua sistem refrigerasi bertingkat dan sekarang akan ditinjau dari berbagai kombinasi kompresor-evaporator.

2.3.2 Sistem dua evaporator dan satu kompresor

Dimana m_I dan m_{II} adalah aliran massa refrigeran melalui evaporator I dan II masing-masing. Maka dihasilkan pada Persamaan (2.7) dan (2.8).

$$m_I = \frac{Q_{e,I}}{(h_7 - h_5)} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$m_{II} = \frac{Q_{e,II}}{(h_5 - h_4)} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$h_2 = \frac{m_I h_7 + m_{II} h_8}{m_I + m_{II}} \dots\dots\dots (2.9)$$

COP dari sistem ini diberikan pada Persamaan (2.20)

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{Q_{e,I} + Q_{e,II}}{W_c} \\ &= \frac{m_I(h_7 - h_5) + m_{II}(h_6 - h_4)}{(m_I + m_{II})(h_2 - h_1)} \dots\dots (2.10) \end{aligned}$$

2.3.3 Sistem dua kompresor dan satu evaporator

Kompresor tersebut yang satu Massa dari neraca dan energi dari tangki cetus:

$$\begin{aligned} m_7 + m_3 &= m_8 + m_4 \\ m_7 h_7 + m_3 h_3 &= m_8 h_8 + m_4 h_4 \dots\dots (2.11) \end{aligned}$$

Keseimbangan massa dan energi di katup ekspansi:

$$m_8 = m_9 \quad h_8 = h_9 \dots\dots\dots (2.12)$$

Keseimbangan massa dan energi di katup evaporator:

$$\begin{aligned} m_9 &= m_I \\ Q_e &= m_I (h_1 - h_9) \dots\dots\dots (2.13) \end{aligned}$$

Keseimbangan massa dan energi di tahap rendah kompresor, kompresor I

$$\begin{aligned} m_9 &= m_I = m_I \\ W_I &= m_I (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (2.14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_4 &= m_5 = m_{II} \\ W_{II} &= m_{II} (h_5 - h_4) \dots\dots\dots (2.15) \end{aligned}$$

dari persamaan di atas dapat diketahui persamaan untuk tangki cetus.

$$\begin{aligned} m_7 &= m_4 = m_{II} \\ m_3 &= m_8 = m_I \\ m_{II} &= m_I \left[\frac{h_3 - h_8}{h_4 - h_7} \right] \dots\dots\dots (2.16) \end{aligned}$$

$$\text{COP} = \frac{Q_e}{W_I + W_{II}} = \frac{mI(h1-h9)}{mI(h2-h1) + mII(h5-h4.)} \quad \dots$$

(2.17)

2.3.4 Sistem dua kompresor dan dua evaporator

Daya yang dikeluarkan oleh kompresor: Kompresor tingkat

$$\text{rendah} = \frac{(m2)(h2-h1) \frac{\text{Btu}}{\text{lb}_f}}{(42,4 \frac{\text{Btu}}{\text{hp min}})}$$

Kompresor tingkat tinggi

$$= \frac{(m3)(h4-h3)}{(42,4 \text{ Btu/hp min})}$$

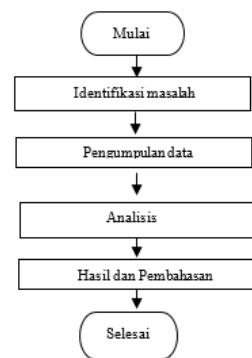
Total daya = daya kompresor tingkat rendah + daya kompresor tingkat tinggi

III. METODOLOGI PENELITIAN

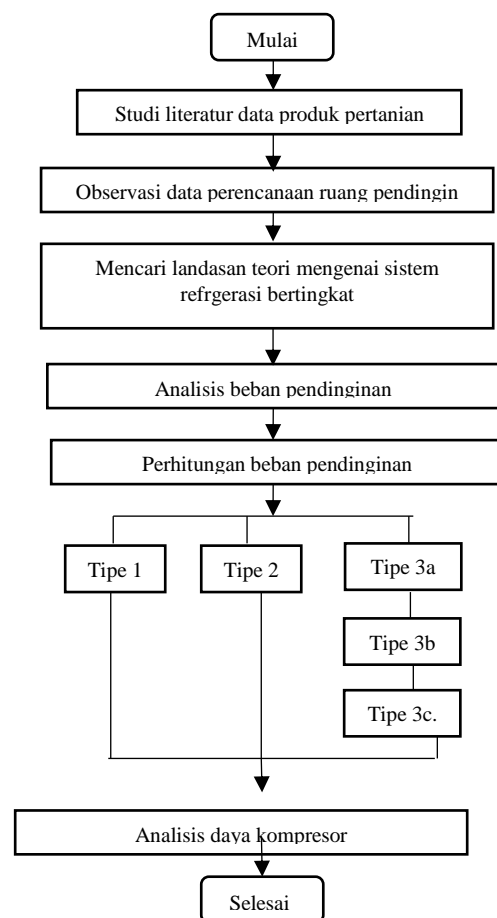
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian Penelitian ini dilaksanakan di Fakultas Teknik UNSRAT pada bulan Agustus 2016 sampai dengan bulan Januari 2017.

3.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, sebagaimana yang ditampilkan dalam Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir analisis

IV. PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Ruang

Penyimpanan Kentang

4.1.1 Dimensi ruang penyimpanan

Penentuan peti kemas berdasarkan jumlah karton bahwa 1 peti kemas terdiri dari 160 karton maka 25 peti kemas x 160 karton = 4000 karton dan 4000 karton x 22,6796 kg = 90718,4 kg = 90,72 ton.

1. Ukuran panjang:

- 5 peti kemas
= 5 x 1,36 m = 6,8 m
- jarak antara peti kemas
= 4 x 15 cm = 0,6 m
- jarak depan = 1,3 m
- jarak belakang = 0,3 m
total panjang = 9 m

2. Ukuran lebar:

- 5 peti kemas x 1,36 m = 6,8 m
- jarak antara peti kemas
= 3 x 15 cm = 0,45 m
- jarak kanan kiri
= 2 x 30 cm = 60 cm 0,6 m
- tempat pengambilan barang
= 2,15 m
total panjang = 10 m

3. Ukuran tinggi:

- tinggi peti kemas = 3,4 m
- jarak antara peti kemas dan
atap = 2,6 m

total tinggi = 6 m

4.1.2 Analisis beban pendinginan produk kentang

Beban pendinginan yang diperhitungkan dalam perancangan ruang penyimpanan ini adalah:

a. Beban pendinginan dari produk

$$q = \dot{m} c \Delta T$$

dimana;

$$\dot{m} = 90718,4 \text{ kg/hari}$$

$$c = 0,82 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = (84-45)^\circ\text{F} = 39^\circ\text{F}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} q &= 90.718,4 \text{ kg/hari} \times \\ &2,20462262 \text{ lb/kg} \times \\ &0,82 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F} \times 39^\circ\text{F} \\ &= 5802451,2 \text{ Btu/hari} \\ &= 266499,78 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

b. Beban pendinginan dari bangunan

- Beban pendinginan melalui dinding dan pintu (q_1) dapat dihitung:

$$q_1 = U A (t_o - t_i)$$

dimana:

U = koefisien perpindahan kalor

A = luas permukaan dinding dan pintu = 2 x (9 x 4) + 2 x (10 x 4) = 72 + 80 = 152 m² =

$$1 \quad 636,11 \text{ ft}^2$$

t_0 = temperatur udara luar =
31°C (87,8°F)

t_1 = temperatur ruang
penyimpanan = 7,22°C (45°F)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots + \frac{1}{f_o}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{6,0} + \frac{4,7}{5,0} + \frac{4,0}{0,17} + \frac{1}{1,65}}$$

$$= 0,03962 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{Jam}}$$

$$q_1 = (0,03962) (1636,11)$$

$$(42,8)$$

$$= 2774,41 \text{ Btu/jam}$$

- Beban pendinginan melalui atap (q_2) dapat dihitung:
- $$q_2 = U A (t_0 - t_1)$$

dimana:

U = koefisien perpindahan kalor

A = luas permukaan atap = 9×10
 $= 90 \text{ m}^2 = 968,75 \text{ ft}^2$

t_0 = temperatur udara luar
 $= 31^\circ\text{C} (87,8^\circ\text{F})$

t_1 = temperatur ruang penyimpanan
 $= 7,22^\circ\text{C} (45^\circ\text{F})$

$$U = 0,03809 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{Jam}}$$

$$q_2 = 0,03809 (968,75) (42,8)$$

$$= 1579,30 \text{ Btu/jam}$$

- Beban pendinginan melalui lantai (q_3) dapat dihitung dengan Persamaan (2.3) sebagai berikut:

$$q_3 = U A (t_0 - t_1)$$

dimana:

U = koefisien
perpindahan kalor

A = luas permukaan lantai = $9 \times 10 =$
 $90 \text{ m}^2 = 968,75 \text{ ft}^2$

t_0 = temperatur udara luar
 $= 31^\circ\text{C} (87,8^\circ\text{F})$

t_1 = temperatur ruang penyimpanan
 $= 7,22^\circ\text{C} (45^\circ\text{F})$

$$U = 0,03561 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{Jam}}$$

$$q_3 = 0,03561 (968,75) (42,8)$$

$$= 1476,48 \text{ Btu/jam}$$

Sehingga total beban
pendinginan melalui bangunan:

$$q_{\text{bangunan}} = q_1 + q_2 + q_3$$

$$= 2774,41 + 1579,30 + 1476,48$$

$$= 5830,19 \text{ Btu/jam}$$

c. Beban yang berasal dari dalam
ruang penyimpanan (beban
internal)

- Beban dari pekerja
(3 orang) (950 Btu/jam)

$$= 2.850 \text{ Btu/jam}$$

Dengan waktu *loading* 1,5
jam/hari beban menjadi,

$$(2850 \text{ Btu/jam}) (1,5/24)$$

$$= 178 \text{ Btu/jam}$$

Dengan f_{RT} sebesar 1,2 beban
menjadi, $(178 \text{ Btu/jam}) \cdot (1,2)$

$$= 214 \text{ Btu/jam}$$

- Beban dari lampu

$$(6 \text{ buah}) (40 \text{ watt/buah}) (3,41 \frac{\text{Btu}}{\text{jam} \cdot \text{watt}}), = 818,4 \text{ Btu/jam} (20 \%$$

$$= 1,2)$$

$$(1,2) \cdot (818,4 \text{ Btu/jam})$$

$$= 982,1 \text{ Btu/jam}$$

$$(982,1 \text{ Btu/jam}) (1,5/24)$$

$$= 61,38 \text{ Btu/jam}$$

Dengan f_{RT} sebesar 1,2 beban menjadi,

$$(61,38 \text{ Btu/jam}) \cdot (1,2)$$

$$= 73,66 \text{ Btu/jam}$$

- Beban dari *Forklift*

Diasumsikan *forklift* yang digunakan dengan daya sebesar 41,4255 Hp. Maka beban dari *forklift* :

$$(41,4255 \text{ Hp}) (3415 \frac{\text{Btu}}{\text{jam} \cdot \text{watt}})$$

$$= 141.468 \text{ Btu/jam}$$

$$(141468 \text{ Btu/jam}) (1,5/24)$$

$$= 8.842 \text{ Btu/jam}$$

$$(8842 \text{ Btu/jam}) \cdot (1,2)$$

$$= 10.610 \text{ Btu/jam}$$

- Pemanas Listrik

$$(3) (6000 \text{ watt}) (3,412 \frac{\text{Btu/jam}}{\text{watt}})$$

$$= 61.416 \text{ Btu/jam}$$

$$(61416 \text{ Btu/jam}) (1/24)$$

$$= 2.559 \text{ Btu/jam}$$

Dengan f_{RT} sebesar 1,2 beban menjadi,

$$(2559 \text{ Btu/jam}) \cdot (1,2)$$

$$= 3.198,8 \text{ Btu/jam}$$

- *Fan*

$$(3) (\frac{500}{1000} \text{ kW}) (3415 \text{ Btu/jam}.$$

$$\text{kW}) = 5.122,5 \text{ Btu/jam}$$

Dengan f_{RT} sebesar 1,2 beban menjadi,

$$(5122,5 \text{ Btu/jam}) \cdot (1,2)$$

$$= 6.147 \text{ Btu/jam}$$

d. Beban pendinginan akibat pergantian udara.

$$q_{pu} = 5812,51 \text{ ft}^3 \times 5,0/24 \text{ jam} \times 1,54 \text{ Btu/cu.ft (Stoecker, 1992)}$$

$$= 1.864,85 \text{ Btu/jam}$$

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Beban Pendinginan Produk Kentang

Macam Beban Pendinginan	Besar Beban (Btu/jam)
Beban pendinginan produk	5.830,19
Rembesan panas dari gedung	266.499,78
Beban dari internal (ruang penyimpanan):	214,00
a. pekerja	73,66
b. lampu	10.610,00
c. <i>forklift</i>	3.198,80
d. pemanas listrik	6.147,00
e. <i>fan</i>	1.864,85
Beban pendinginan akibat pergantian udara	
Total =	294.438,28

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Beban Pendinginan Produk Tomat

Macam Beban Pendinginan	Besar Beban (Btu/jam)
Beban pendinginan dari produk	212.057,14
Rembesan panas dari gedung	9.352,37
Beban dari internal (ruang penyimpanan):	214,00
a. pekerja	
b. lampu	73,66
c. <i>forklift</i>	10.610,00
d. pemanas listrik	3.198,80
e. <i>fan</i>	6.147,00
Beban pendinginan akibat pergantian udara	5.608,41
Total =	247.261,38

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Beban Pendinginan Produk Cabe Rawit

Macam Beban Pendinginan	Besar Beban (Btu/jam)
Beban pendinginan produk	262.893,31
Rembesan panas dari gedung	10.482,48
Beban dari internal (ruang penyimpanan):	
a. pekerja	214,00
b. lampu	73,66
c. <i>forklift</i>	1.0610,00
d. pemanas listrik	3.198,80
e. <i>fan</i>	6.147,00
Beban pendinginan akibat pergantian udara	662,11
Total =	300.281,36

Tabel 4.4 Total Beban Pendinginan Keseluruhan (Kentang, Tomat, dan Cabe Rawit) 1 ton refrigerasi = 12.000 Btu/jam

Produk	Beban Pendinginan (Btu/jam)
Kentang	294.438,28 = 24,54 TR
Tomat	247.261,38 = 20,61 TR
Cabe Rawit	300.281,36 = 25,02 TR
Total=	841.981,02

4.2 Dua Kompresor dan Tiga

Evaporator:

Beban pendinginan kentang

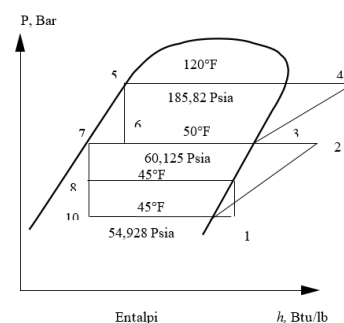
= 24,54 TR (45°F)

Beban pendinginan tomat

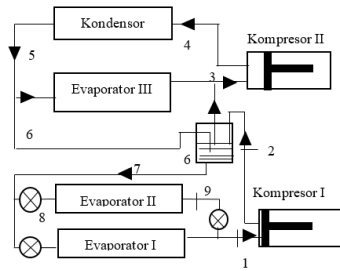
= 20,61 TR (50°F)

Beban pendinginan cabe rawit

= 25,02 TR (45°F)



Gambar 4.1 Diagram $p-h$ sistem dua kompresor tiga evaporator



Gambar 4.2 Sistem dua kompresor tiga evaporator

$$h_1 = h_g \text{ pada } 45^\circ\text{F} (108,06 \text{ Btu/lb})$$

$$h_2 = h \text{ pada } 60,125 \text{ psia} = \text{kompresi isentropik} (120 \text{ Btu/lb})$$

$$h_3 = h_g = 50^\circ\text{F} (108,74 \text{ Btu/lb})$$

$$h_4 = 185,82 \text{ psia} = \text{kompresi isentropik} (132 \text{ Btu/lb})$$

$$h_5 = h_f \text{ pada } 120^\circ\text{F} (51,47 \text{ Btu/lb})$$

$$h_6 = h_5 (51,47 \text{ Btu/lb})$$

$$h_7 = h_f \text{ pada } 50^\circ\text{F} (27,28 \text{ Btu/lb})$$

$$h_8 = h_7 (27,27 \text{ Btu/lb})$$

$$h_9 = (109,06 \text{ Btu/lb})$$

$$h_{10} = (27,28 \text{ Btu/lb})$$

Perhitungan:

$$m_1 = \frac{24,54 \text{ ton} (200 \text{ Btu}/(\text{min})(\text{ton}))}{h_1 - h_{10}}$$

$$= \frac{4908}{108,06 - 27,28}$$

$$= 60,76 \text{ lb/min}$$

$$m_1 = m_2 = m_7 = m_8 = m_{10} = 60,76 \text{ lb/min}$$

- Keseimbangan kalor:

$$m_5 h_5 + 4122 + m_2 h_2 = m_3 h_3 + m_7 h_7$$

$$m_2 = m_7 = 60,76 \text{ lb/min}$$

$$m_5 = m_3$$

maka:

$$m_5 (51,47) + 4122 + (60,76) (120)$$

$$= m_3 (108,74) + (60,76) (27,28)$$

$$m_5 (51,47) + 11413 = m_3 (108,74) + 1657,53$$

$$-m_3 57,27 = -9755,67$$

$$m_3 = \frac{9755,67}{57,27}$$

$$= 170,40 \text{ lb/min}$$

Daya yang diperlukan kompresor:

Kompresor tingkat rendah

$$= \frac{(60,76) (120 - 108,06)}{42,4 \text{ Btu}/(\text{hp} \cdot \text{min})}$$

$$= 12,67 \text{ hp}$$

Kompresor tingkat tinggi

$$= \frac{(m_3)(h_4 - h_3)}{42,4 \text{ Btu}/(\text{hp} \cdot \text{min})}$$

$$= \frac{(170,40 \text{ lb/min}) (132 - 108,74)}{42,4 \text{ Btu}/(\text{hp} \cdot \text{min})}$$

$$= 93,48 \text{ hp}$$

Total daya kompresor

$$= 12,67 \text{ hp} + 93,48 \text{ hp}$$

$$= 106,15 \text{ hp}$$

4.3 Satu Kompresor dan Tiga

Evaporator:

Beban pendinginan kentang

$$= 24,54 \text{ TR } (45^\circ\text{F})$$

Beban pendinginan tomat

$$= 20,61 \text{ TR } (50^\circ\text{F})$$

Beban pendinginan cabe rawit

$$= 25,02 \text{ TR } (45^\circ\text{F})$$

Nilai evaporator I = 24,54 TR (200

$$\text{Btu}/(\text{min} (\text{ton})) = 4908$$

$$Q_{e,II} = 25,02 (200) = 5004$$

$$Q_{e,III} = 20,61 (200) = 4122$$

$$m_1 = \frac{Q_{e,I}}{h_{11}-h_8} = \frac{4908}{108,06-25,66 \text{ Btu/lb}} \\ = 59,56 \text{ lb/min}$$

$$m_2 = \frac{5004}{108,06-25,66 \text{ Btu/lb}} \\ = 60,73 \text{ lb/min}$$

$$m_3 = \frac{Q_{e,III}}{h_9-h_4} \\ = \frac{4122}{108,74-51,47} \\ = 71,97 \text{ lb / min}$$

$$m_{\text{total}} = m_1 + m_2 + m_3 \\ = 59,56 \text{ lb/min} + 60,73 \text{ lb/min} + \\ 71,97 \text{ lb/min} \\ = 192,26 \text{ lb/min}$$

Daya yang diperlukan kompresor:

$$= [192,26 (h_2-h_1) / 42,4] \\ = [192,26 (132 - 108,06) / 42,4] \\ = 108,55 \text{ hp}$$

4.4 Dua Kompresor dan Satu Evaporator (Produk Kentang)

Beban pendinginan kentang

$$= 24,54 \text{ TR } (45^\circ\text{F})$$

Kompresor tingkat rendah

$$= \frac{(69,26 \frac{\text{lb}}{\text{min}})(126 - 108,06)}{42,4 \frac{\text{Btu}}{\text{hp}}(\text{min})} = 29,30 \text{ hp}$$

Kompresor tingkat tinggi

$$= \frac{(100,73 \frac{\text{lb}}{\text{min}})(h_4-h_3)}{42,4 \frac{\text{Btu}}{\text{hp}}(\text{min})}$$

4.5 Dua Kompresor dan Satu Evaporator (Produk Tomat)

Beban pendinginan pada tomat

$$= 20,61 \text{ TR } (50^\circ\text{F})$$

Kompresor tingkat rendah

$$= \frac{(57,97 \frac{\text{lb}}{\text{min}})(125 - 108,74)}{42,4 \frac{\text{Btu}}{\text{hp}}(\text{min})}$$

$$= 22,23 \text{ hp}$$

Kompresor tingkat tinggi

$$= \frac{(82,48 \frac{\text{lb}}{\text{min}})(h_4-h_3)}{42,4 \frac{\text{Btu}}{\text{hp}}(\text{min})}$$

$$= \frac{(82,48 \frac{\text{lb}}{\text{min}})(132 - 112,87)}{42,4 \frac{\text{Btu}}{\text{hp}}(\text{min})}$$

$$= 37,21 \text{ hp}$$

Total daya kompresor = 22,23 hp +

$$37,21 \text{ hp} = 59,44 \text{ hp}$$

4.6 Dua Kompresor dan Satu Evaporator (Produk Cabe Rawit)

Cabe rawit = 25,02 TR (45°F)

Kompresor tingkat rendah

$$= \frac{(70,62 \frac{\text{lb}}{\text{min}})(126 - 108,06)}{42,4 \frac{\text{Btu}}{\text{hp}}(\text{min})} = 29,88 \text{ hp}$$

Kompresor tingkat tinggi

$$= \frac{(102,70 \frac{\text{lb}}{\text{min}})(h_4-h_3)}{42,4 \frac{\text{Btu}}{\text{hp}}(\text{min})}$$

$$= \frac{(102,70 \text{ lb/min}) (132 - 112,53 \text{ Btu/lb})}{42,4 \text{ Btu/hp}(\text{min})}$$

$$= 47,16 \text{ hp}$$

Total daya kompresor = 29,88 hp +

$$47,16 \text{ hp} = 77,04 \text{ hp}$$

Tabel 4.8 menunjukkan daya kompresor dari ketiga tipe variasi kompresor, evaporator yang telah dihitung sebelumnya.

Ti pe	Sistem Pendingin	Besa r Day a	Total	
1	Bertingkat 2 Kompresor dan 3 Evaporator	12,6 7 hp	106,15 hp	
		93,4 8 hp		
2	Bertingkat 1 Kompresor dan 3 Evaporator	108, 55 hp	108,55 hp	
3	3a. Bertingkat dua kompresor dan satu evaporator produk kentang	29,3 0 hp	75,5 5 hp	21 2,0 3 hp
		46,2 5 hp		
	3b. Bertingkat dua kompresor dan satu evaporator produk tomat	22,2 3 hp	59,4 4 hp	
		37,2 1 hp		
	3c. Bertingkat dua kompresor dan satu evaporator produk cabe rawit	29,8 8 hp	77,0 4 hp	
		47,1 6 hp		

Dari tabel 4.8 dapat diketahui bahwa dari segi daya maka diperoleh tipe 1 lebih efisien dibandingkan dengan

tipe 2 dengan selisih perbedaan 2,4 hp sedangkan tipe 3 yaitu 3a. didapatkan sebesar 75,55 hp, tipe 3b. didapatkan sebesar 59,44 hp, dan tipe 3c. sebesar 77,04 hp dengan total daya adalah 212,03 hp selisih beda yang didapatkan dengan tipe satu dan dua sangat jauh atau dengan kata lain daya yang digunakan untuk tipe 3 jauh lebih besar.

Dalam tinjauan selanjutnya dapat dilihat bahwa selisih perbedaan daya pada tipe 1 dan tipe 2 berdasarkan persentase adalah sekitar 2,4% saja sehingga dapat dikatakan hampir sama sehingga faktor ekonomis menjadi pertimbangan selanjutnya untuk memilih tipe mana yang lebih baik, untuk tipe 2 pertimbangannya adalah peralatan yang digunakan lebih sederhana Karena hanya membutuhkan satu kompresor sehingga otomatis biaya pembelian dan perawatan jauh lebih murah. Untuk tipe 1 memberikan keuntungan dari segi produksi karena produksi bisa jalan meskipun salah satu kompresor rusak (dengan cara mengurangi jumlah produk yang didinginkan).

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Dari analisis beban pendinginan menggunakan produk pertanian dapat diketahui besar beban pendinginan yang digunakan dari ketiga produk pertanian andalan Sulawesi Utara yaitu produk kentang sebesar 294.438,28 Btu/jam, tomat sebesar 247.261,38 Btu/jam, dan cabe rawit 300.281,36 Btu/jam. Total dari ketiga produk yaitu 841.981,02 Btu/jam.
2. Dengan menggunakan refrigerasi bertingkat maka hasil yang didapat yaitu Didapatkan menggunakan tipe 1 sebesar 106,15 hp, tipe 2 sebesar 108,55 hp, dan tipe 3 yaitu tipe 3a sebesar 75,55 hp, tipe 3b sebesar 59,44 hp, tipe 3c sebesar 77,04 hp dengan total 212,03 hp.
3. Sistem refrigerasi bertingkat tipe 1 lebih efisien dibandingkan dengan tipe 2 dengan selisih 2,4 hp dan menggunakan tipe 3 yaitu tipe 3a, tipe 3b, tipe 3c pemakaian daya jauh lebih besar.

5.2 Saran

Penelitian seperti ini dapat dilakukan untuk produk-produk pertanian yang berbeda, kapasitas ruang penyimpanan yang berbeda, maupun kombinasi evaporator – kompresor yang berbeda dalam sistem refrigerasi bertingkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, R.A. 2013. Perancangan Gudang Pendingin Untuk Komoditas Kentang. Jambi: Balai Pelatihan Pertanian.
- Anonymous. *Multi evaporator and multi compression refrigeration system*
- Dossat, R.J. 1971. *Principles of Refrigeration*. Texas Grafik Refrigeran 134a <https://www.google.co.id/search?q=grafik+refrigeran+r134a&biw> (diakses tanggal 27 Agustus 2016)
- Gunadarma, 2012. Ruang Penyimpanan. Jakarta: Erlangga.
- Flores, A.R. 1992. *Storage Construction fruits and Vegetables* Holtikultura Sulawesi Utara

<http://sulut.bps.go.id/linkTabelStatistik/view/id/74> (diakses 25 Agustus 2016).

Gedung Utama Politeknik Negeri
Hokseumav

King, G. R. 1971. *Modern Refrigeration Practice*. New Delhi: Mc Graw-Hill, Inc.

Murtono, A, Kalangi, P.N.I , dan Kaparang F.E.2015. Analisis Beban Pendinginan *Cold Storage* PT. Sari Tuna Makmur Aertembaga Bitung, Sulawesi Utara. Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan Tangkap, Vol 2, No 2, halaman 89-93Pantastico, ER,B. 1989. Fisiologi Pasca Panen. Gajah Mada

Rahmat, M.R. 2015. Perancangan *Cold Storage* Untuk Produk Reagen.Jurnal ilmiah Teknik Mesin, Vol 3, No 1.

Stoecker, W.F. 1992. *Refrigeration and Air Conditioning*. New Delhi: Mc Graw-Hill, Inc

Stoecker, W.F, Jones. J.W, Hara. S.1989. Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara Edisi II. Jakarta: Erlangga.

Syamsuar. 2012. Analisis Beban Pendinginan Tata Udara (STU) Ruang Auditorium Lantai III